

## ВИЗНАЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ КАНАЛУ БЕЗПРОВОДОВОГО ЦИФРОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

*Бєлов В. С., аспірант; Номировська В. В., студентка  
Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна*

Реалізація системи безпроводового цифрового зв'язку полягає у вирішенні ряду задач. Зокрема необхідно прагнути до зменшення відношення сигнал/ шум при мінімізації смуги пропускання, проте при підвищенні швидкості передачі інформації. Повинна зберігатись енергетична та частотна ефективність. Існують теоретичні обмеження щодо частотного діапазону та швидкості передачі, що характеризуються формулами Шеннона та Найквіста [1, 2].

Ширина смуги частот за Найквістом, необхідна для немодульованої передачі  $R_s$  символів за секунду без міжсимвольної інтерференції, складає  $R_s/2$  Гц. Це основне теоретичне обмеження.

Реальна пропускна здатність цифрової системи зв'язку знижується з ідеальних 2 симв./с/Гц до 1,8 – 1,4 симв./с/Гц. Із набору  $M$  символів, система модуляції або кодування присвоює кожному символу  $k$  — бітове значення, де  $M = 2^k$ . Таким чином, число біт на символ можна представити як  $k = \log_2 M$  [3]. Швидкість передачі даних, або швидкість передачі бітів  $R$ , повинна бути в  $k$  раз більше швидкості передачі символів  $R_s$ , як слідує із наступного виразу:

$$R = kR_s, \quad (1)$$

$$R_s = \frac{R}{k} = \frac{R}{\log_2 M}. \quad (2)$$

Для системи з фіксованою швидкістю передачі символів з формули (1) очевидно, що зі збільшенням  $k$  збільшується швидкість передачі бітів  $R$ .

Енергетична ефективність системи зв'язку визначається нормованим співвідношенням сигнал/ шум, яке має бути створене на приймальній стороні для забезпечення заданої якості зв'язку.

Для цифрової системи зв'язку це означає забезпечення роботи з ймовірністю неправильного відтворення символу повідомлення  $P_B$ , що не перевищує задану. Нормоване відношення сигнал/ шум  $h^2$  вимірюється як відношення енергії на вході приймача, що витрачається на передачу одного біта повідомлення  $E_b$  до загальної спектральної густини  $N_0$  шуму:

$$h^2 = E_b/N_0. \quad (3)$$

Якщо швидкість передачі інформації складає  $R$ , то середній час передачі одного біту повідомлення буде:

$$T_b = \frac{1}{R}. \quad (4)$$

Тоді енергія біта становитиме:

$$E_b = P_c \cdot T_b = \frac{P_c}{R}. \quad (5)$$

Смуга частот  $W_i$  є інформаційною смугою, при чому  $W_i = R$ .

З урахуванням (3) та (5) нормоване відношення сигнал/ шум буде:

$$h^2 = \frac{P_c}{N_0 \cdot \Delta f_i} = \frac{P_c \cdot W}{P_{ш} \cdot W_i}. \quad (6)$$

Отриманий вираз визначає величину показника енергетичної ефективності. Як видно з (6) найкращим з точки зору використання енергетичного потенціалу являється той варіант, для якого необхідне найменше значення  $h^2$ , оскільки це означає, що при однакових шумах в каналі витрачається менша енергія передавача для передачі кожного біту повідомлення.

Параметром ефективності використання системою передачі інформації смуги робочих частот є питома швидкість передачі інформації. Вона характеризує відношення реалізованої в даній системі швидкості передачі інформації  $R$  до смуги робочих частот  $W$ . Питома швидкість передачі інформації позначається  $\eta$  і буде дорівнювати:

$$\eta = R / W, \left[ \frac{\text{біт/с}}{\text{Гц}} \right]. \quad (7)$$

Для визначення пропускної здатності каналу застосовується формула Шеннона [1]. Теорема має вигляд:

$$C = W \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right), \quad (8)$$

де  $C$  — максимальна пропускна здатність, біт/с;  $W$  — смуга частот каналу;  $S$  — потужність сигналу;  $N$  — потужність шуму.

Оскільки  $S = (R \cdot E_b)$ , а  $N = (N_0 \cdot W)$ , тоді:

$$C = W \cdot \log_2 \left[ 1 + \frac{R \cdot E_b}{N_0 \cdot W} \right] = W \cdot \log_2 \left[ 1 + \frac{\left( \frac{R}{W} \right)}{\left( \frac{E_b}{N_0} \right)} \right], \quad (9)$$

де  $E_b$  — енергія на біт;  $R$  — швидкість передачі біт;  $N_0$  — спектральна густина потужності шуму.

Для аналізу формули Шеннона використовуються введені показники ефективності. При цьому враховується, що швидкість передачі інформації буде  $R=C$ .

Тоді:

$$\begin{aligned} \eta = \frac{C}{W} &= \log_2 \left[ 1 + \frac{P_c \cdot C}{N_0 \cdot W \cdot C} \right]; \\ \eta &= \log_2 (1 + \eta \cdot h^2). \end{aligned} \quad (10)$$

З формули (10) можна виразити значення  $h^2$ .

$$h^2 = \frac{2^n - 1}{\eta}. \quad (11)$$

Таким чином, отриманий вираз встановлює зв'язок між характеристиками енергетичної та спектральної ефективності.

#### **Література**

1. Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication / C. E. Shannon // Bell System Technical Journal — 1948 — Vol. 27: 379—423 (Part I).
2. Nyquist H. Regeneration theory / H. Nyquist // Bell System Technical Journal — 1932/ — P. 126—147.
3. Кичак В. М. Визначення бітових спотворень в каналах з прямою корекцією помилок / В. М. Кичак, В. С. Белов, А. С. Белов // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». — 2012. — №1. — С. 121—124.

#### **Анотація**

Розглянуто теоретичні обмеження щодо частотного діапазону цифрової безпроводової системи зв'язку. Обґрунтовано показники ефективності роботи системи зв'язку. Встановлена залежність між енергетичною та спектральною ефективностями.

Ключові слова: пропускна здатність, енергетична ефективність, спектральна ефективність, питома швидкість передачі інформації.

#### **Аннотация**

Рассмотрены теоретические ограничения частотного диапазона цифровой беспроводной системы связи. Обоснованы показатели эффективности работы системы связи. Установлена зависимость между энергетической и спектральной эффективностями.

Ключевые слова: пропускная способность, энергетическая эффективность, спектральная эффективность, удельная скорость передачи информации.

#### **Abstract**

Discussed the theoretical limit on the frequency range of digital wireless system. Proved indicators of the system efficiency. Determined dependence between energy and spectral efficiency.

Keywords: capacity, energy efficiency, spectral efficiency, specific rate information.